

LES ACTIONNEURS ÉLECTRIQUES

Le but de ce cours est de vous donner les connaissances de base des actionneurs électriques les plus répandus tels que les machines à courant continu (que nous appellerons par la suite MCC), et les machines asynchrones (que nous appellerons par la suite MAS). Nous verrons sommairement leur fonctionnement interne pour en dégager un modèle simple dans le cas de la MCC.

1 LA MACHINE À COURANT CONTINU (MCC)

1.1 PRINCIPES PHYSIQUES MIS EN JEU

1.1.1 LA LOI DE LAPLACE

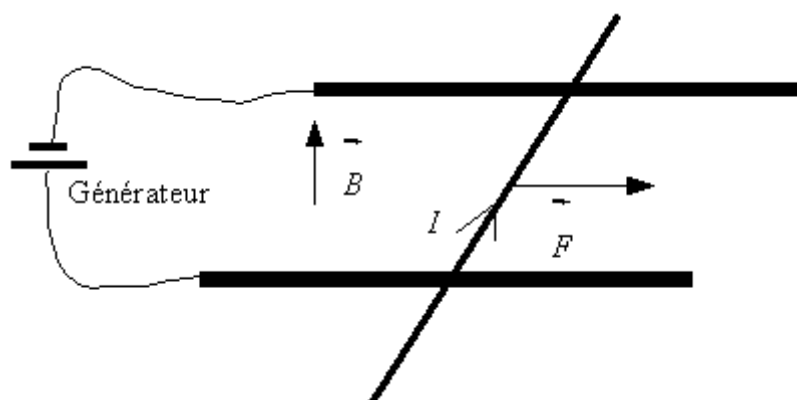
Le fonctionnement d'une MCC est simple dans l'idée, mais un peu plus compliqué dans la réalisation. Le principe qui régit son fonctionnement est du au physicien Laplace qui a mis le phénomène suivant en évidence :

Si on plonge un conducteur électrique de longueur l , parcouru par un courant d'intensité I , dans un champ magnétique d'intensité B , alors le conducteur se voit appliqué une force d'intensité F dont le module et le sens sont donnés par la formule suivante :

$$\vec{F} = l * \vec{I} \wedge \vec{B}$$

avec l en mètre, I en ampère, B en Tesla et F en Newton.

C'est un produit vectoriel, le résultat est donc un vecteur (la force) qui se détermine grâce à la règle des trois doigts de la main droite. Il est à noter que ce phénomène physique est réversible, c'est à dire que si on déplace le conducteur métallique dans un champ magnétique, alors il y a apparition d'un courant (ceci sera important pour plus tard).



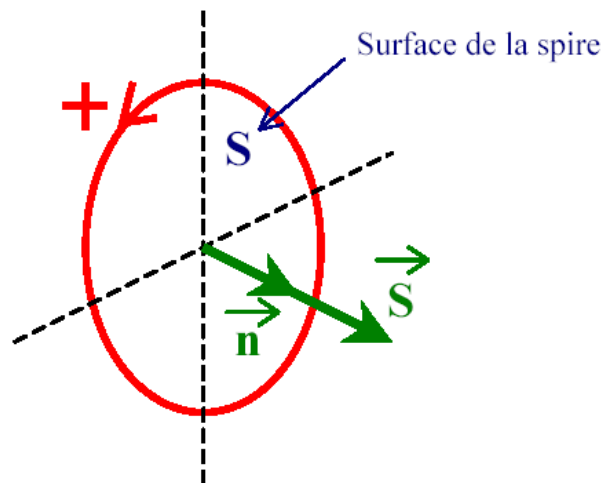
1 - Schéma de l'expérience de Laplace

La première étape de la construction de la MCC est en place. Par ce simple phénomène physique on arrive déjà à créer une force mécanique à partir de l'énergie électrique. Maintenant il ne nous reste plus qu'à voir comment on va l'utiliser.

1.1.2 CRÉATION D'UN CHAMP MAGNÉTIQUE

Pour créer un champ magnétique, on peut utiliser des aimants naturels, mais il existe une autre solution grâce à un autre phénomène physique qui est le suivant :

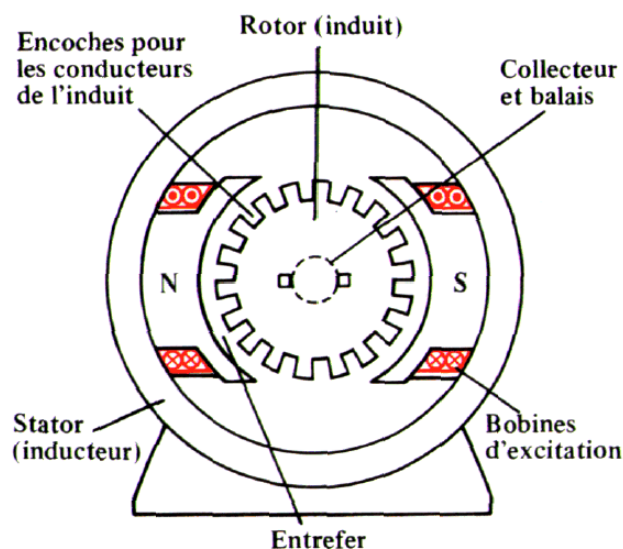
Si une spire est parcourue par un courant, alors celle-ci crée un champ magnétique.



2 – Champ magnétique produit par une spire parcourue par un courant électrique

1.2 CONSTITUTION DE LA MCC ET PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

La MCC est constituée de deux parties principales appelées le rotor et le stator (voir schéma ci-dessous).

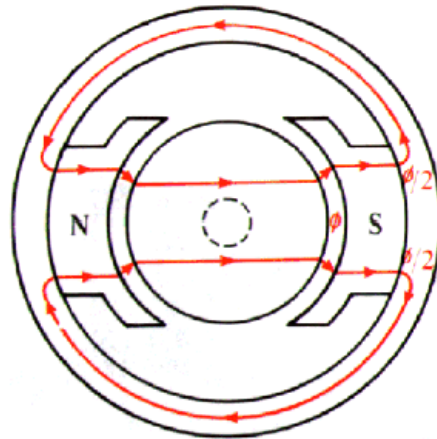


2 - Vue en coupe simplifiée d'une MCC

Vous l'aurez compris, la partie centrale est le rotor (puisque c'est elle qui va tourner) et la partie extérieure (la carcasse de la machine) est le stator (puisque'elle ne va pas tourner).

Rôle du stator (ou inducteur)

Comme vous pouvez le voir sur le schéma ci-dessus, le stator supporte des bobines d'excitation. Leur rôle va être de produire le champ magnétique dont nous avons besoin (rappelez vous le principe de Laplace).



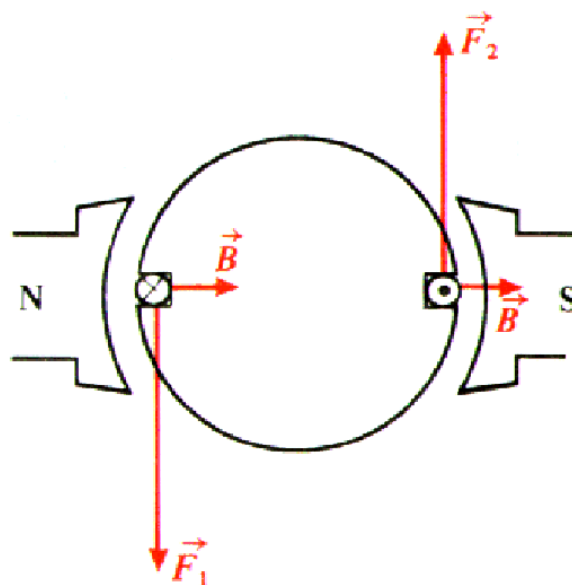
3 - Schéma du circuit emprunté par le champ magnétique dans la MCC

Sur le schéma ci dessus, on voit que le champs magnétique produit par les bobines du stator traverse tout le rotor, mais si il n'y avait que cela, le moteur ne fonctionnerait pas.

Rôle du rotor (ou induit)

On peut voir dans la figure 2 que le rotor possède des encoches. Elles servent à recevoir des fils conducteurs qui seront parcourus par un courant.

Maintenant si on utilise le principe de Laplace, l'application est quasiment immédiate. Prenons le cas sur une spire.



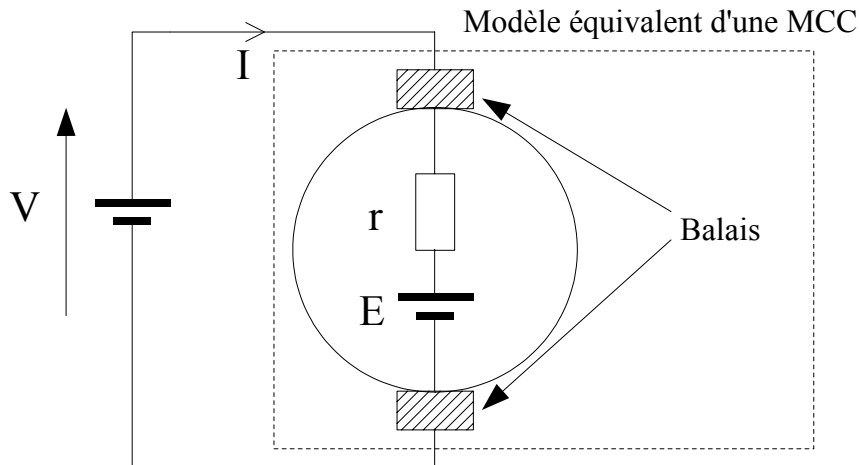
4 – Application du principe de Laplace sur une spire.

Sur le schéma sont indiquées les forces agissant sur les deux fils (essayez de les retrouver vous même). Immédiatement, on peut voir que le couple de force va mettre le cylindre (ici le rotor) en rotation. Si vous multipliez le nombre de spires, alors vous augmentez le couple appliqué sur le rotor et ainsi la puissance du moteur ! Facile non ?

1.3 MODÈLE DE LA MCC

Nous n'allons pas aller plus loin dans son fonctionnement. Nous allons dégager un modèle simple qui permettra de réaliser des calculs et de faciliter sa compréhension.

Le modèle plus simple et le plus commun de la MCC est le suivant :



On peut voir que le modèle n'est constitué que d'une résistance interne notée r (due à la résistance des fils), et d'un générateur de tension noté E (qui traduit le fait que le rotor tourne dans un champ magnétique) que l'on appelle aussi f.c.e.m. (Force Contre ElectroMotrice).

Les relations qui lient les caractéristiques (couple, vitesse) aux caractéristiques (courant, f.c.e.m.) sont les suivantes :

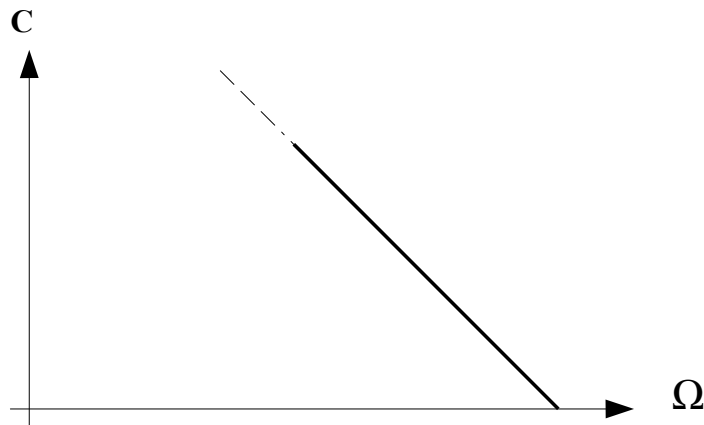
- $C=k.I$: le couple moteur est dépendant (à une constante près) de I . Cette constante est toujours donnée puisqu'elle dépend de la constitution géométrique de la machine.
- $E=k.\Omega$: la f.c.e.m. est aussi dépendante linéairement (à une constante près) de Ω . Cette constante est en général la même que ci-dessus.

Remarque : De manière qualitative, on peut déjà imaginer le comportement de la machine avec les relations que nous avons plus haut. Prenons deux cas particuliers :

- Au démarrage, la vitesse du rotor est nulle, donc $\Omega=0$. Ce qui entraîne que $E=0$. Dans ce cas le courant est maximal (car il n'est pas limité par E) et le couple aussi.
- Lorsqu'il est à pleine vitesse et en supposant que c'est une machine idéale qui n'entraîne aucune charge. Dans ce cas $E=V$ donc $I=0$. Nous avons donc un couple moteur nul.

1.4 CARACTÉRISTIQUE “COUPLE-VITESSE” DE LA MCC

La remarque précédente nous amène à la courbe ci-dessous qui est la caractéristique de la MCC :



5 - Caractéristique Couple-Vitesse d'une MCC

2 LA MACHINE ASYNCHRONE

La machine asynchrone fonctionne différemment par rapport à la MCC. L'alimentation de cette machine ne se fait plus par un générateur de tension constante, mais par un générateur triphasé (comme nous l'avons vu dans le cours sur la distribution de l'énergie électrique).

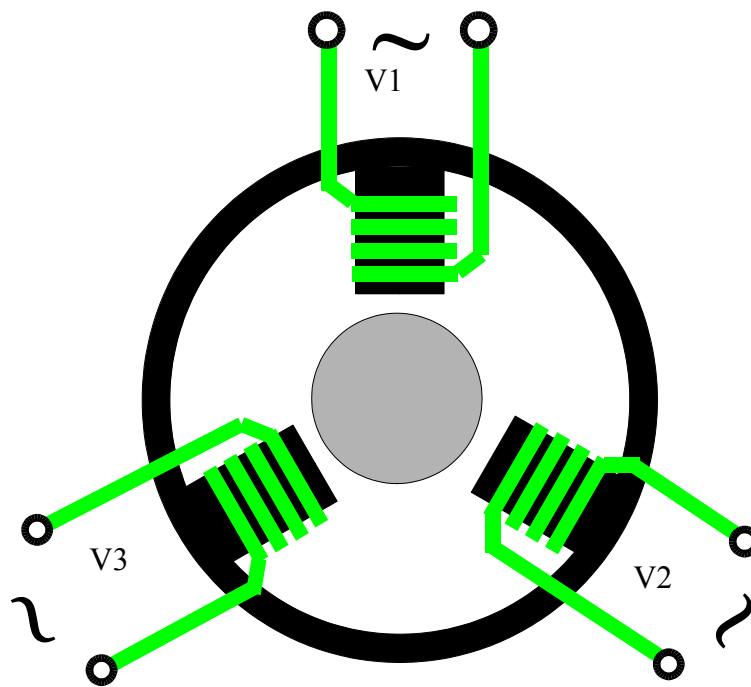
Les principes physiques mis en jeu sont beaucoup plus compliqués à décrire pour ce type de machine, c'est pour quoi nous ne les aborderons pas.

2.1 CONSTITUTION ET PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

On peut imaginer une machine dont le fonctionnement serait différent de celui de la MCC. Par exemple on pourrait supposer que si un champ magnétique pouvait tourner sur lui-même alors une aiguille de boussole serait mis en mouvement de la même manière. Et bien c'est exactement de cette manière que cette machine fonctionne.

2.1.1 CONSTITUTION

Voici un schéma très simplifié représentant une vue en coupe de la machine :



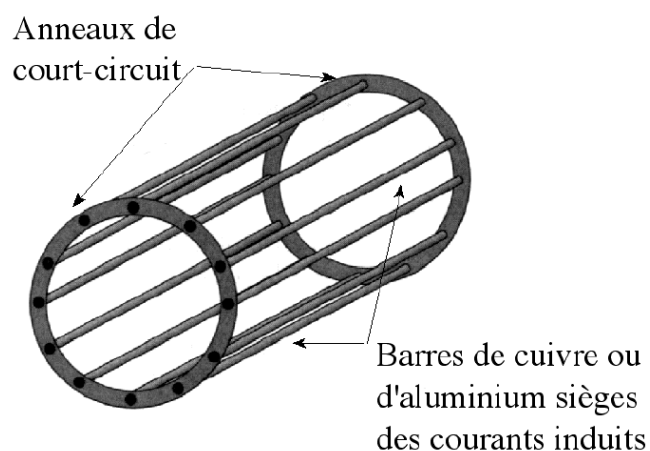
6 - Schéma d'une vue en coupe d'une MAS

Je tiens à préciser tout de suite que ce schéma représente de très loin la réalité. Il sert avant tout à comprendre comment la machine est constituée.

On peut voir que la machine a deux parties. Elles se nomment aussi rotor et stator comme pour la MCC.

Le Rotor

Bien sur, c'est lui qui est porteur de l'arbre moteur. Sur le schéma, on ne voit aucun contact avec d'autres parties. C'est tout simplement parce qu'il n'y en a pas ! (L'explication va venir après...) C'est une pièce qui n'est pas connectée à un réseau électrique, aussi étrange que cela puisse paraître (ce qui ne veut pas dire qu'elle n'est pas parcourue par un courant électrique).



7 - Exemple de réalisation d'un rotor de MAS

Le Stator

Comme pour la MCC, cette partie du moteur est ronde et représente sa carcasse. Il supporte trois bobinages électriques, chacun étant branché à une tension du réseau triphasé.

2.1.2 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Mais comment tout cela fonctionne ?!! J'y viens, j'y viens...

Vous vous souvenez de la boussole qui s'oriente en présence d'un champ magnétique ? C'est ce que nous ont permis de réaliser les bobinages du stator. En alimentant chacun d'eux par des tensions triphasées équilibrées, nous avons créé au sein du moteur un champ magnétique tournant ! Si on y mettait notre fameuse boussole elle tournerait avec une vitesse angulaire Ω de $2.\pi.F$ (F étant la fréquence de la tension).

Très bien tout cela mais notre boussole est aimantée alors que notre rotor n'est juste qu'une masse de fer...

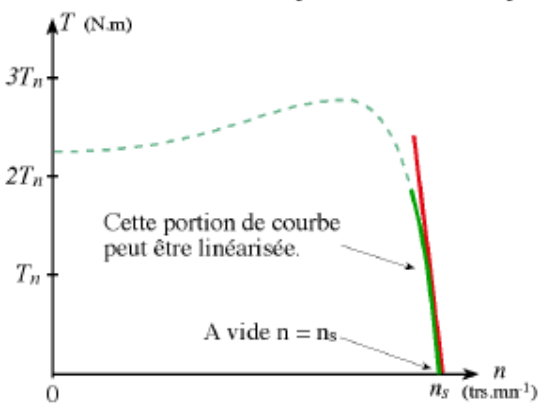
C'est là que ça peut être assez compliquée. Le fait qu'il y ait un champ magnétique tournant au sein de la machine va engendrer des courants dans le rotor (souvenez vous de Laplace). Si il y a des courants et des champs magnétiques dans la machine alors il y a forcément des forces mécaniques (couple) qui vont apparaître, et c'est ce qui se passe réellement.

2.2 CARACTÉRISTIQUE “COUPLE-VITESSE” DE LA MAS

Il existe un modèle de la machine asynchrone, mais nous ne l'étudierons pas ici car cela dépasse largement le cadre de notre propos.

Pour comprendre le fonctionnement de cette machine nous allons voir sa caractéristique “couple-vitesse”:

3.3. Caractéristique mécanique $T_u = f(n)$



Légende

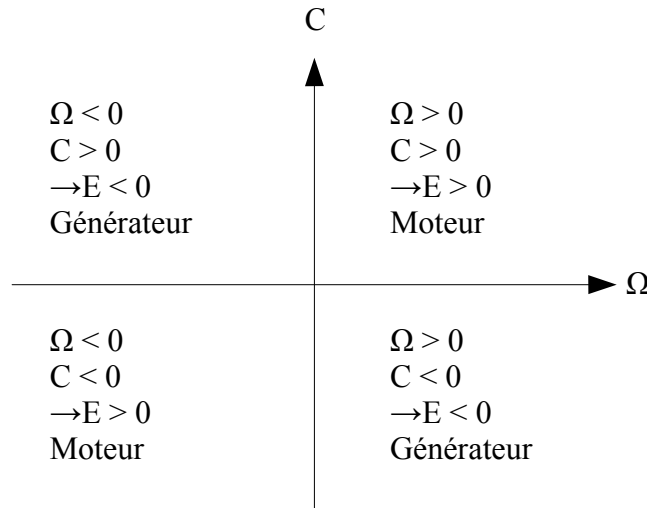
- T_n Couple nominal
- Couple de démarrage du moteur.
On constate que ce couple est fort : la machine peut démarrer en charge.
- Zone de fonctionnement du moteur.
On constate qu'elle est presque linéaire.
Cette partie de la courbe est très verticale : la vitesse varie peu avec la charge.
- La zone de fonctionnement peut être modélisée par une droite

Commentaires

La partie utile de cette courbe est celle marquée par des traits pleins, le reste n'étant pas utilisable. De manière semblable à la MCC, on peut voir que lorsque la vitesse est à son maximum le couple est nul (pas de transfert d'énergie), et lorsqu'on applique une charge le couple augmente avec une faible variation de vitesse (transfert d'énergie).

3 ESPACE DE FONCTIONNEMENT EN RÉGIME PERMANENT

Dans tous les cas les machines électriques sont réversibles. C'est à dire qu'elles fournissent de l'énergie mécanique lorsqu'elles sont alimentées, et qu'elles fournissent de l'énergie électrique lorsqu'elles sont entraînées mécaniquement. On définit dans ce cas quatre zones de fonctionnement qui indiquent dans quel mode la machine est utilisée.



4 NOTION DE POINT DE FONCTIONNEMENT

Lorsque l'on met une charge sur l'arbre du moteur, il est souvent nécessaire de connaître dans ce cas la vitesse de rotation de la machine. Le problème vient du fait que le couple résistif de la charge dépend souvent de la vitesse de rotation et il est difficile de le résoudre sans méthode. Nous cherchons donc le **point d'équilibre** qu'atteindra la machine. Ce point est appelé **point de fonctionnement**.

Pour le déterminer, il suffit de connaître la caractéristique « Couple Résistif – Vitesse d'entraînement » d'une charge et de la superposer sur celle de la machine. Le croisement des deux courbes donne le point de fonctionnement.

Exemple

